

На правах рукописи



КАДЫРОВ РАИЛЬ ИЛГИЗАРОВИЧ

**ЛИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
СЮКЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА,
РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН**

Специальность 25.00.06 – литология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Казань – 2014

Работа выполнена на кафедре региональной геологии и полезных ископаемых Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета.

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук, доцент
Сунгатуллин Рафаэль Харисович

Официальные
оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры осадочной геологии
Санкт-Петербургского государственного университета
Шишлов Сергей Борисович

кандидат геолого-минералогических наук,
руководитель лаборатории литологии и
геохимии осадочных формаций
Института геологии Коми научного центра УрО РАН
Салдин Виктор Алексеевич

Ведущая организация: **Национальный исследовательский
Саратовский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского**

Защита состоится «10» апреля 2014 г. в 14.30 на заседании диссертационного совета Д 212.081.09 при Казанском федеральном университете по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5, ИГиНГТ КФУ, ауд. 211.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н. И. Лобачевского Казанского (Приволжского) федерального университета. Электронная версия автореферата размещена на официальном сайте Казанского (Приволжского) федерального университета (<http://kpfu.ru/>).

Ваш отзыв на автореферат просим направлять по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, Казанский (Приволжский) федеральный университет, отдел аттестации научно-педагогических кадров. Факс: (843) 2337867.

Автореферат разослан «_____» _____ 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат физико-
математических наук



А.А. Галеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Эвапориты – породы, осажденные из концентрированных водных растворов (Сонненфелд, 1988), к которым некоторые исследователи относят только высокорастворимые соли (хлориды), другие дополнительно включают сульфаты и кальциево-магниевого карбонаты (Шванов и др., 1998). Одним из примеров эвапоритового бассейна являются пермские отложения востока Русской плиты, хорошая обнаженность которых способствовала их детальному исследованию на протяжении 150 лет. Данные породы вмещают разнообразный комплекс полезных ископаемых (различные соли, строительные материалы, подземные воды, битумы и др.); в настоящее время здесь разрабатываются месторождения доломита и гипса. Эвапориты несут важную информацию о процессах, происходивших в геологическом прошлом. Несмотря на большое количество работ, посвященных солеродным бассейнам (Н.С. Курнаков, М.Г. Валяшко, М.А. Жарков, Н.М. Страхов, В.Н. Холодов, В.И. Игнатьев, У.Г. Дистанов, Г.А. Беленицкая, Г.А. Московский, О.П. Гончаренко, А.А. Махнач, J.K. Warren, J.L. Melvin и др.), в деле изучения пермских эвапоритовых толщ до сих пор остается ряд нерешенных вопросов, связанных с детальностью палеогеографических реконструкций, выявлением условий формирования месторождений гипса, однозначной интерпретацией аналитических данных и др.

В последние десятилетия в литологию активно внедряются физико-химические методы изучения пород и минералов, которые успешно используются для восстановления условий образования и эволюции осадконакопления. Наиболее эффективно они работают, когда результаты, полученные разными методами, взаимодополняют и контролируют друг друга. Применение комплексных исследований для отложений пермского эвапоритового бассейна способствует получению новой информации об условиях формирования и постседиментационного преобразования пород, что актуально с точки зрения развития научных знаний. Сведения о генезисе геологических объектов вместе с физико-химической информацией позволяют эффективнее осуществлять прогноз и поиск месторождений полезных ископаемых, а на разведочной стадии использовать полученные результаты в сфере практического применения.

Объектом изучения явились пермские (казанский и, частично, сакмарский ярусы) сульфаты и карбонаты разрабатываемого Сюкеевского месторождения гипса, расположенного на правом берегу р. Волга в 70 км южнее г. Казань.

Фактический материал и методы исследования. Автором отобрано 75 образцов из керна пяти разведочных скважин и двух обнажений, проведено оптико-микроскопическое исследование 35 шлифов, использованы физико-химические методы: с целью определения содержания элементов в породах – атомно-эмиссионный спектральный (АЭСА) (44 образца) и рентгенофлуоресцентный анализы (43 образца); для измерения изотопных соотношений углерода и кислорода – масс-спектрометрия (27 образцов); для определения содержания парамагнитного Mn^{2+} – электронный парамагнитный резонанс (ЭПР) (70 образцов); для подтверждения цикличности в осадконакоплении – измерение магнитной восприимчивости (66 образцов). Для определения минерального состава пород проведены рентгенофазовые исследования (7 образцов), для изучения включений

минералов в доломитах и гипсах осуществлена растровая электронная микроскопия с микрозондовым анализом (3 образца), с помощью дифференциального термомагнитного анализа определены магнитные минералы (6 образцов).

Автором использованы структурные и палеофациальные карты В.И. Игнатьева (1976), Ю.В. Сементовского (1973), разрезы скважин, химические анализы предшественников, фондовые геологические материалы, научные публикации по теме, сыгравшие значительную роль при подготовке диссертации.

Обобщение и анализ фактического материала проведены унифицированным способом; численные расчеты выполнены с помощью программ Statistika, Excel, созданы компьютерные модели объектов, явлений, процессов комбинированием Easy Trace и ГИС ArcGIS.

Цель работы – реконструкция условий формирования пород Сюкеевского месторождения гипса с помощью физико-химических методов и разработка его модели как основы для прогноза и поисков залежей сульфатов в Предволжье.

Основные задачи:

- установить цикличность осадконакопления;
- определить содержания макро- и микроэлементов в породах;
- изучить изотопный состав углерода и кислорода доломитов;
- выявить постседиментационные изменения и их стадийность;
- провести реконструкцию условий седиментации;
- создать модель формирования Сюкеевского месторождения гипса.

Научная новизна.

1. Впервые проведены комплексные исследования эвапоритовых толщ Республики Татарстан.

2. Уточнены границы распространения сульфатной зоны в изученной части казанского бассейна и условия образования гипсовых пластов Сюкеевского месторождения на основе анализа структурных особенностей, состава пород, обобщения данных о процессах седиментации карбонатов и сульфатов.

3. Выявлено, что марганец содержится исключительно в седиментационно-диагенетических доломитах и отсутствует в кальцитах, подтверждая вторичную природу последних.

4. Получена дополнительная информация для обоснования трансгрессивно-регрессивных циклитов в разрезе Сюкеевского месторождения на основе петромагнитных и электронно-парамагнитных данных.

5. Установлено, что формирование литотипов доломитов разных стратиграфических уровней, в основном, обусловлено особенностями седиментации, которые фиксируются с помощью стабильных изотопов.

6. Выделена стадийность постседиментационных процессов в пределах Сюкеевского месторождения.

7. Впервые предложена модель формирования Сюкеевского месторождения гипса.

Практическая значимость. Создана карта мощности верхнего продуктивного пласта гипса в Предволжье. Результаты исследования можно использовать при прогнозах гипсоносности территорий, поисках карбонатного сырья, битумов, серы и других полезных ископаемых. Данные по химическому составу пород, изотопному

составу углерода и кислорода могут использоваться для сопоставления и корреляции разрезов в научно-исследовательских и региональных геологических работах.

Положения, выносимые на защиту:

1. Сюкеевское месторождение сформировалось в условиях субтропического климата, интенсивного прогрева и быстрого испарения вод в мелководно-прибрежной части казанского палеоморя («шельф насыщения»), что привело к концентрации рассолов, отложению гипса и карбонатов.

2. Модель месторождения сульфатной стадии галогенеза, учитывающая тяжелый изотопный состав пород ($\delta^{13}\text{C}$ 0,3-6,6 ‰, $\delta^{18}\text{O}$ 28,0-36,6 ‰), повышенные содержания в гипсах В, Ва, Sr, Zn и пониженные содержания в карбонатах Mn, P, Y. Постседиментационные преобразования диагенетической и гипергенной стадий выражены в окремнении, формировании вторичных гипса и кальцита, битуминизации, пиритизации, образовании серы и целестина.

3. Перспективы гипсоносности Предволжья связаны с пластами гипса в регрессивных частях циклитов, выделенных на основе геологических и литологических данных, вариаций содержаний марганца и значений магнитной восприимчивости.

Апробация работы и публикации. В полном объеме результаты диссертации представлены на заседании кафедры региональной геологии и полезных ископаемых КФУ. Основные ее положения докладывались и обсуждались на российских и международных конференциях: Восьмой Международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (Санкт-Петербург, 2009), X Международной научной конференции «Нанотех-2009» (Казань, 2009), XIV Международном научном симпозиуме им. академика М. А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2010), 8-м Уральском литологическом совещании «Актуальные вопросы литологии» (Екатеринбург, 2010), Российском совещании с международным участием «Минеральные индикаторы литогенеза» (Сыктывкар, 2011), XV Международном симпозиуме им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горногеологического образования в Сибири (Томск, 2011), 6-м Всероссийском литологическом совещании «Концептуальные проблемы литологических исследований в России» (Казань, 2011), Региональной научно-практической конференции «Геология и полезные ископаемые Западного Урала» (Пермь, 2012), Международном молодежном научном форуме «ЛОМОНОСОВ-2012» (Москва, 2012), Всероссийском литологическом совещании, посвященном 100-летию со дня рождения Л. Б. Рухина (Санкт-Петербург, 2012), седьмом Всероссийском литологическом совещании «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории» (Новосибирск, 2013). Материалы работы докладывались на итоговых научных конференциях КФУ (2009 – 2013). Работа поддержана молодежным Грантом АН РТ (2012) и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009 – 2013 годы» (2013).

Материалы диссертации используются на практических занятиях по курсам «Геология полезных ископаемых», «Геоинформационные системы в геологии», проводимых автором для студентов КФУ, применяются для выполнения курсовых и дипломных работ.

По вопросам, затронутым в диссертации, опубликовано 14 научных работ, из них 4 работы – в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для защиты диссертаций.

Личный вклад автора заключается в отборе и изучении каменного материала из керна скважин и обнажений, изготовлении и описании шлифов, осуществлении подготовки проб к физико-химическим исследованиям, выполнении измерений методами рентгенофлуоресцентного и спектрального анализов, электронного парамагнитного резонанса, детальном анализе опубликованных и фондовых материалов по эвапоритовой тематике, проведении статистической обработки полученных результатов. Соискатель является создателем большинства карт, разрезов, моделей и основных обобщений, представленных в диссертации.

Достоверность результатов определяется большим объемом выполненных аналитических работ, комплексным применением современных физико-химических методов, использованием общепринятых методик и стандартов, включая методы математической статистики, воспроизводимостью полученных результатов, привлечением к интерпретации полученных данных современных представлений о закономерностях формирования эвапоритовых отложений и постседиментационных изменений.

Структура работы. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и 5 текстовых приложений. Объем работы составляет 139 страниц, включает 54 рисунка, 7 таблиц, список литературы из 157 источников, из которых 40 - иностранные.

Благодарности. Автор благодарен за ценные консультации и советы научному руководителю Р.Х. Сунгатуллину, заведующему кафедрой региональной геологии и полезных ископаемых Р.Р. Хасанову, коллегам из Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ, сотруднику ГИН РАН В.Н. Кулешову, А.Н. Тюрину, С.В.Игнатьеву, М.Я. Боровскому – за обсуждение полевых материалов. Автор крайне признателен руководству ООО «Фоника Гипс» и ТГРУ ОАО «Татнефть» за предоставленный керновый материал для проведения исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении описаны актуальность работы, объект изучения, цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и достоверность результатов диссертации, а также приведены сведения об апробации работы и публикациях. Здесь же сформулированы защищаемые положения и кратко охарактеризована структура работы.

Раздел 1. История геологического изучения казанских отложений Предволжья

Исследования казанских отложений на востоке Русской плиты неразрывно связаны с историей становления пермской системы (Р.И. Мурчисон, Э.Вернейль, А. Кейзерлинг). Н.А. Головкинский впервые в 1868 г. детально изучил породы, относимые сегодня к казанскому ярусу, которые он назвал формацией «пермского известняка», и заложил основы современных представлений об условиях формирования и фациальной природе морских отложений.

М.Э. Ноинский (1899, 1924) создал детальную местную стратиграфическую схему казанского яруса, ставшую эталонной при всех последующих исследованиях и не потерявшую своего значения до настоящего времени. Им впервые для казанского яруса установлены явления ритмичности. Дальнейший прогресс в изучении казанских отложений связан с именами В.А. Чердынцева, Б.П. Кротова, Л.М. Миропольского, Н.Н. Форша, Е.И. Тихвинской и других исследователей. Вопросы фациальной природы отложений и палеогеографии подробно рассмотрены Ю.В. Сементовским (1973) и В.И. Игнатьевым (1976). Начиная с 80-х годов прошлого века, активно развиваются физические и химические методы исследования вещественного состава казанских отложений. В последние годы проведены работы по изучению стратиграфии (Б.В. Буров, В.М. Игонин, В.В. Силантьев и др.) и ритмичности казанских отложений (Ф.А. Муравьев, Н.Г. Нурғалиева и др.), исследуются вопросы минералогии и влияния флюидов (Э.А. Королев, Г.А. Кринари и др.).

Поисковые, разведочные и эксплуатационные работы на Сюкеевском месторождении гипса осуществлялись с 1931 г. по 1960 г. В 2008 – 2009 гг. ТГРУ ОАО «Татнефть» проведены доразведка и изучение гидрогеологических условий Сюкеевского месторождения гипса. С 2012 г. месторождение введено в эксплуатацию и отрабатывается с помощью штольни ООО «Фоника-Гипс». Планируется ежегодно добывать 250 – 500 тысяч тонн гипса, который будет использоваться для изготовления гипсокартона, пазогребневых плит и сухих строительных смесей на построенном у с. Сюкеево заводе. Вместе с появлением нового перерабатывающего комплекса возрастает актуальность геологического изучения казанских отложений Предволжья, к которым приурочены наиболее крупные месторождения гипса.

Таким образом, в результате предыдущих геолого-разведочных и научно-исследовательских работ, проведенных на Сюкеевском месторождении, выяснены его геологическое строение, вещественный состав и технологические свойства двух пластов гипса.

Раздел 2. Геологическое строение и характеристика пород Сюкеевского месторождения

Сюкеевское месторождение расположено в южной части Казанско-Кировского прогиба Волго-Уральской антеклизы и представляет собой характерный пример совместного образования карбонатов и сульфатов в биармийском морском полузамкнутом бассейне. Казанские продуктивные отложения подстилаются сакмарскими породами, а перекрываются – уржумскими (рис. 1). Сакмарские отложения в районе месторождения распространены повсеместно и представлены доломитами, ангидритами, гипсами и глинами.

Нижний подъярус казанского яруса представлен полифациальными отложениями, залегающими с разрывом на сакмарских породах. Нижнеказанские отложения состоят из микрозернистых доломитов глинистых, загипсованных. Доломиты крепкие, массивные, иногда встречаются зоны окремнения. Верхнеказанские отложения, вмещающие Сюкеевское месторождение гипса, вскрыты многочисленными скважинами. В верхнем подъярусе казанского яруса выделяют

ОТДЕЛ	ЯРУС	ПОДЯРУС	ТОЩА	ПАЧКА	ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ КОЛОНКА	МОЩНОСТЬ, м	ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД
БИАРМИЙСКИЙ	УРЖУМСКИЙ	ВЕРХНИЙ				45	Переслаивание известняков и мергелей серых, горизонтально-слоистых, тонкослоистых коричневых глин, алевролитов и песчаников.
		НИЖНИЙ				50	Глины, алевролиты, песчаники, с прослоями известняков и мергелей с включениями гипса
	КАЗАНСКИЙ	ВЕРХНИЙ	ПЕРЕСЛАИВАЮЩАЯСЯ	Н		15	Переслаивание доломитов серых, гипсов белых с прожилками и прослоями доломитовых мергелей и глин.
				G			
				F			
				E			
			ПЕЩЕНСКАЯ	D		22	Доломиты светло-серые, битуминозные, с включениями серы, с глезами и желваками гипса и прожилками селенита. Гипсы белые, массивные с прослойками глинистых доломитов.
				C			
		ПРИКАЗАНСКАЯ		B		36	Доломиты серые, крепкие, местами олиговысы, загипсованные, в верхней части битуминозные с включениями серы.
				A			
	НИЖНИЙ					13	Доломиты серые, крепкие, местами загипсованные. В подолжье залегают доломитовые брекчии.
ПРИУРАЛЬСКИЙ	САКМАРСКИЙ	ВЕРХНИЙ				79	Переслаивание загипсованных серых глин и доломитов с гипсами и ангидритами.

1 |
 2 |
 3 |
 4 |
 5 |
 6 |
 7 |
 8 |
 9 |
 10

Рис. 1. Литолого-стратиграфическая колонка Сюкеевского месторождения (построена автором с использованием данных ТГРУ ОАО «Татнефть»)
 1 – гипс; 2 – ангидрит; 3 – доломит; 4 – известняк; 5 – глина; 6 – алевролит;
 7 – песчаник; 8 – битум; 9 – сера; 10 – брекчия

(Игонин, 1994) четыре толщи: приказанская, печищенская, верхнеуслонская и морквашинская.

Приказанская толща распространена повсеместно и состоит преимущественно из доломитов светло-серых, крепких, микрозернистых, массивных с включениями гипса. В нижней части приказанской толщи встречаются оолитовые разности с глинисто-доломитовым цементом. Оолиты размерами от крупных до мелких, различной формы, часто выщелочены, с пористостью до 10 %. Цемент глинисто-доломитовый, базальный. В средней части залегают доломиты светло-серые микро-, тонкозернистые, массивные, часто глинистые с отдельными зернами вторичного кальцита. Пористость доломитов достигает 15 %. В верхней части толщи встречаются доломиты крупно-мелкозернистые, оолитовые, битуминозные. Оолиты имеют четкую концентрическую зональность из 2 – 4 светлых, темных колец и ядра, содержат битумные включения. Часть оолитов выщелочена, что приводит к аномально высокой пористости доломитов (до 35 %). Иногда в порах развиваются вторичные кальцит и гипс, а также целестин. Цемент глинисто-доломитовый, базальный. Кроме битума, в доломитах приказанской толщи фиксируются включения серы как продукты восстановления сульфатов. Гипсы в приказанской толще встречаются в виде небольших прослоев, линз, прожилков и гнезд. При изучении шлифов в порах вмещающих доломитов часто отмечается совместное агрегатное погасание зерен гипса, что указывает на их постседиментационное происхождение.

Печищенская толща повсеместно развита на месторождении и сложена выдержанными по мощности пластами гипса и доломита. Гипс белый, крупно-тонкозернистый, преимущественно массивный, иногда с тонкими прожилками и прослойками доломитов и включениями серых доломитовых глин. Форма зерен гипса преимущественно угловатая.

Верхнеуслонская толща сложена гипсами, доломитами, глинами и мергелями. Нижняя часть представлена переслаиванием доломита серого, светло-серого, микрозернистого, массивного и гипса белого, разномасштабного с прожилками и промазками глин зеленовато-серых плотных. Выше залегает верхний продуктивный пласт гипса белого и серовато-белого, плотного с небольшими прожилками и включениями доломита глинистого, серого, микрозернистого и глины зеленовато-серой. Здесь широко распространены прожилки селенита. В нижней части гипсового пласта часто фиксируется прослой доломита серого, крепкого, микрозернистого, массивного, мощностью 0,4 – 0,9 м. Выше по разрезу встречаются глины серые, плотные с включениями и прожилками гипса и мергелей доломитовых.

Морквашинская толща представлена переслаиванием доломитовых мергелей и глин серых, голубовато-серых, зеленовато-серых с линзами и прожилками гипса.

Два продуктивных пласта гипса Сюкеевского месторождения приурочены к печищенской и верхнеуслонской толщам. Мощность нижнего пласта составляет 7,9–11,2 м, верхнего пласта – 4,0 – 9,4 м. Содержание гипса в продуктивных пластах составляет 92 – 96 %. Нижний пласт характеризуется большей чистотой и постоянством химического состава.

Уржумские отложения, в основном, состоят из красноцветных песчано-глинистых пород с прослоями известняков, доломитов, мергелей и гипса.

Таким образом, Сюкеевское месторождение приурочено к отложениям печищенской и верхнеуслонской толщ верхнеказанского подъяруса. В его строении

участвуют доломиты, мергели и гипсы. Последние образуют два продуктивных пласта средней мощностью 6 м (верхний пласт) и 10 м (нижний пласт).

Раздел 3. Физико-химические исследования пород Сюкеевского месторождения

Для изучения пород и условий их формирования использованы различные методы исследований.

Литогеохимические исследования. Распределение макрокомпонентов по разрезу четко отражает литологические особенности (рис. 2). Минимальные содержания магния приурочены к пластам гипса, а максимальные его содержания зафиксированы в доломитах. Сходный характер изменения по разрезу кремния и алюминия в основном указывает на их вхождение в состав глин.

Породы Сюкеевского месторождения обеднены Ge, Mn, P, Y и обогащены Ag, Ba, Be, Ce, Co, Cr, Cu, In, La, Mo, W, Zn и Zr (рис. 3). По сравнению с доломитами и мергелями в гипсах отмечаются высокие концентрации B, Ba, Sr, Zn, что указывает на формирование последних в хорошо прогреваемых мелководных условиях при периодическом обеднении воды кислородом.

По результатам кластерного и факторного анализов выявлены парагенетические связи между элементами в породах. Значения факторных нагрузок и их веса показывают, что геохимическая обстановка в исследуемом районе определялась тремя основными факторами: «гипсовым», «глинистым» и «доломитовым». Первый фактор обусловлен концентрациями кальция, серы и связан с процессом образования гипса, имеет существенную связь с Ga и Yb. Второй фактор определяется петрогенными элементами, характерными для глин (Si, Al, Fe, K, Ti), а также Na, Cl, Ba. Основной вклад в третий фактор вносят магний и потери при прокаливании (CO₂).

Исследования стабильных изотопов. Доломиты Сюкеевского месторождения в целом характеризуются тяжелым изотопным составом: $\delta^{13}\text{C}$ 0,3 – 6,6 ‰; $\delta^{18}\text{O}$ 28,0 – 36,6 ‰ (рис. 4). Такие значения характерны для пермских карбонатов эвапоритовых формаций (Botz, Muller, 1987 и др.). При переходе от сакмарского к казанскому ярусу прослеживается постепенное облегчение изотопного состава углерода (от 5,5 до 4,5 ‰) и резкое – кислорода (от 35,9 до 30,8 ‰), что связано с перерывом в осадконакоплении и изменением условий седиментации. Образование сакмарских доломитов происходило в более осолоненном и изолированном морском бассейне при меньшем влиянии живых организмов на фракционирование углерода. Изотопный состав кислорода в доломитах казанского яруса меняется незначительно (29,3 – 32 ‰) и выше значений глобальной шкалы $\delta^{18}\text{O}$ ~27,3 ‰ (Veizer, 1999). Возможно, это обусловлено ограниченной связью эпиконтинентального казанского моря с палеоокеаном.

Одной из особенностей изотопного состава доломитов Сюкеевского месторождения является отсутствие зависимости между $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Это может свидетельствовать о том, что наблюдаемые тренды величин изотопного состава обусловлены, главным образом, первичными условиями седиментации; однако не исключена роль и вторичных изменений. Изотопные данные косвенно свидетельствуют о неоднократной смене условий седиментации в палеобассейне, выраженных в изменении солености, глубины, температуры, воздействия биоты и, в

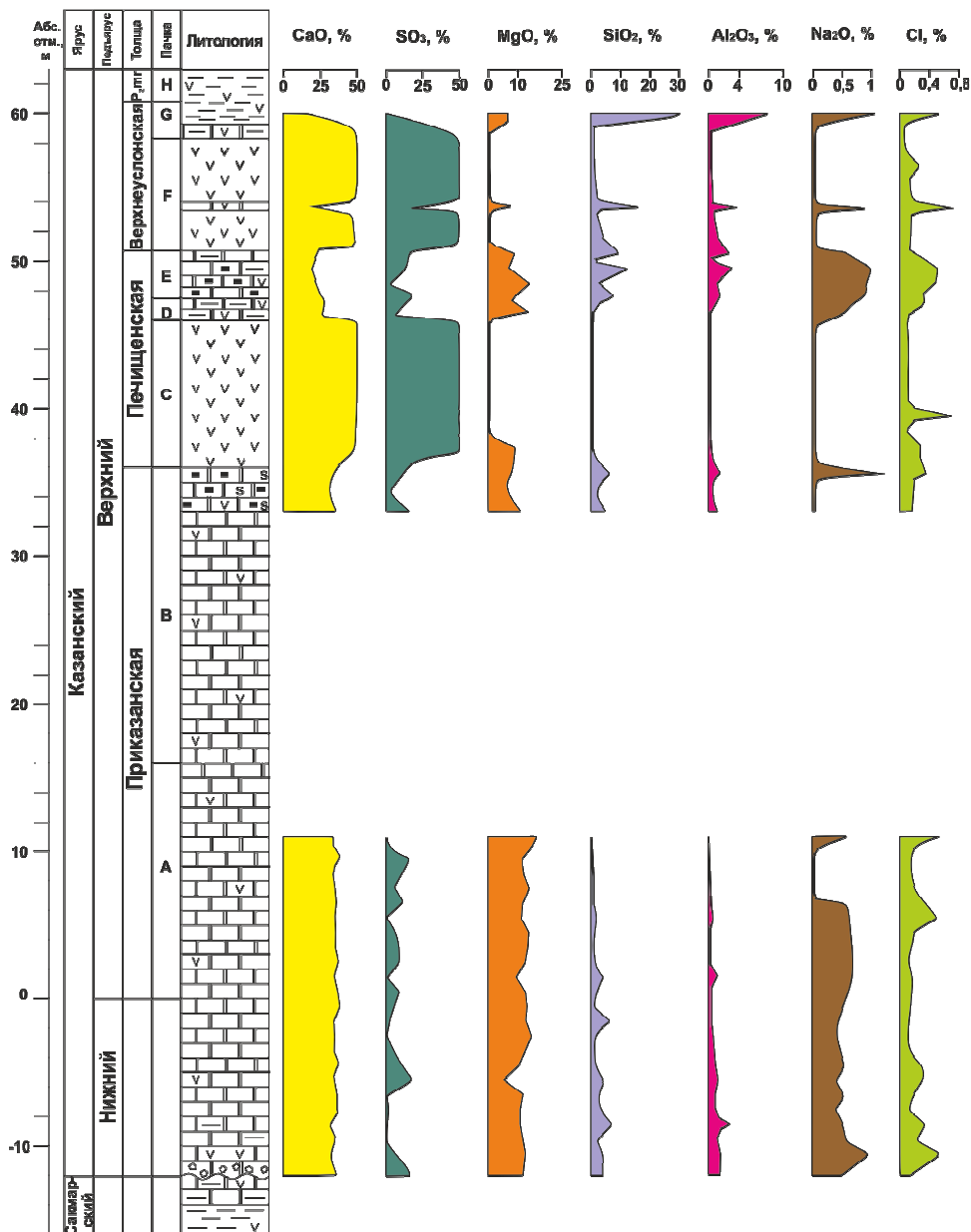


Рис. 2. Распределение породообразующих элементов в разрезе Сюкеевского месторождения.

Условные обозначения см. рис. 1

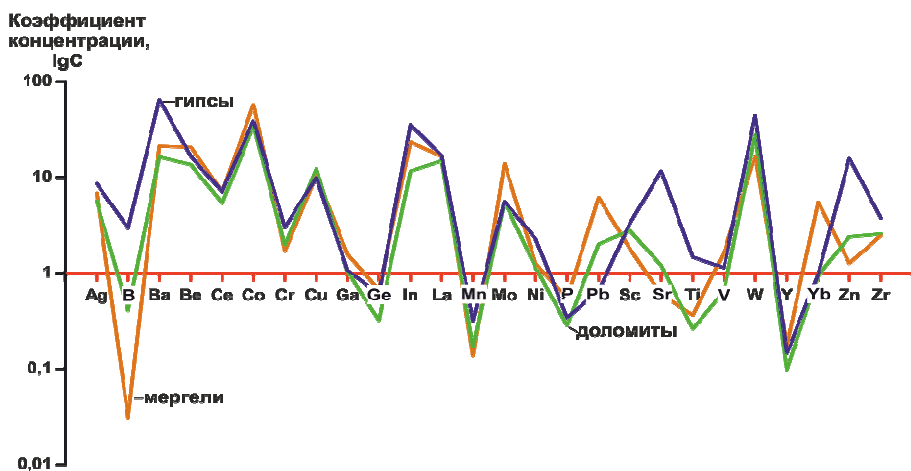


Рис. 3. Коэффициенты концентрации микроэлементов в породах Сюеевского месторождения.

За 1 принято содержание элементов в карбонатах (Turekian and Wedepohl, 1961)
 $\delta^{18}\text{O}$, ‰ (SMOW)

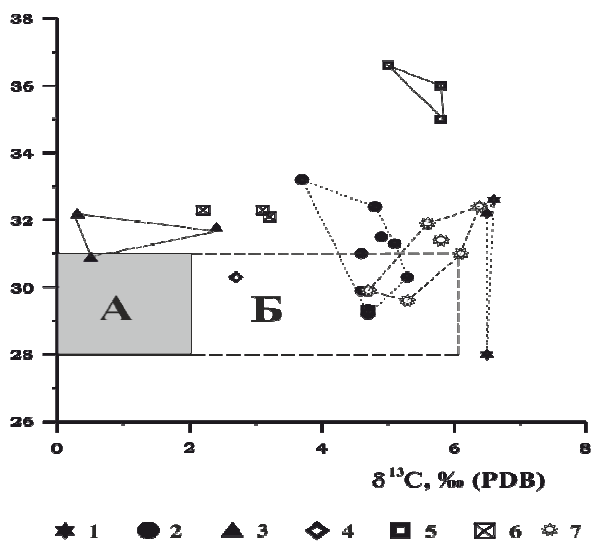


Рис. 4. $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в доломитах Сюеевского месторождения.

Области «А» – современные нормально-осадочные морские карбонаты;
 «Б» – мелководные морские карбонаты зоны интенсивной аэрации. Литотипы доломитов: 1 – крепкий микрозернистый, 2 – серый тонко-микрозернистый, 3 – глинистый, 4 – песчанистый, 5 – светлый слоистый, 6 – вторичный (переотложенный), 7 – оолитовый

конечном счете, приводивших к формированию разных литотипов доломитов, которые образуют обособленные «поля» (см. рис. 4). Область наиболее высоких значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ занимают карбонаты сакмарского яруса, которые образовались в бассейне с высокой степенью сгущения рапы.

Зависимость изотопного состава углерода и кислорода от состава и литологических особенностей ранее установлена для казанских морских отложений других областей Русской плиты (Кулешов и др., 2011; Кулешов, Седаева, 2009; Нургалиева, 2005). При этом значения $\delta^{18}\text{O}$ в верхнеказанских карбонатах Сюкеевского месторождения более тяжелые, что свидетельствует об эвапоритовых условиях седиментации в изученном районе.

Электронные парамагнитные центры. По данным ЭПР выявлено неравномерное распределение концентраций Mn и параметра α ($15 \times \text{IMn}(\text{Mg}^{2+})/\text{IMn}(\text{Ca}^{2+})$) в доломитах Сюкеевского месторождения, что указывает на связь этих величин с условиями формирования пород. Сравнение содержаний марганца, определенных методами ЭПР и спектрального анализа, показало хорошую их сопоставимость (рис. 5), что является свидетельством нахождения Mn^{2+} в позициях Ca^{2+} и Mg^{2+} в структуре доломита. Марганец мигрирует в осадочный бассейн в виде металлоорганических комплексов. В верхнем слое воды, обогащенном кислородом, Mn выпадает в осадок и в условиях восстановительной среды придонной области сорбируется карбонатным илом, а при доломитизации входит в структуру $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$.

Аридный тип литогенеза характеризуется, в целом, низкими концентрациями марганца. Повышение его содержания может указывать на приток более пресных вод и снижение солености рапы. Поэтому изменения концентрации Mn в доломитах можно использовать для выделения трансгрессивно-регрессивных циклов, а также в качестве нового геохимического маркера. В изученном разрезе границы местных стратонов характеризуются аномалиями содержаний Mn и параметра α (Кадыров и др., 2012). По полученным данным можно выделить циклы разного уровня (см. рис. 5), что подтверждает тесную связь содержания марганца в доломитах с геохимической и палеогеографической обстановкой эвапоритового бассейна.

Парамагнитный Mn^{2+} не входит в структуру кальцита, что указывает на его постседиментационное образование. В доломитах встречаются аномалии стронция, которые связаны со вторичной целестиновой минерализацией. Установлена зависимость между содержаниями стронция и зонами максимальной кальцитизации пород, что, возможно, обусловлено деятельностью подземных вод, а также более высокой изоморфной совместимостью кальция и стронция.

Петромагнетизм. Минимальные значения магнитной восприимчивости (χ) отмечаются в гипсовых пластах (см. рис. 5), что определяется диамагнетизмом самого гипса и малым содержанием магнитных минералов в эвапоритовом бассейне. Верхний продуктивный пласт гипса Сюкеевского месторождения содержит многочисленные включения, прослои, прожилки доломита; поэтому магнитная восприимчивость здесь выше, чем в нижнем (более чистом) пласте гипса. Максимальные значения χ (до $8,2 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ) приурочены к доломитам, подстилающим продуктивные пласты гипса. В подошвах казанского яруса и пачки А зафиксированы повышенные величины χ – до $6 \cdot 10^{-5}$ ед. СИ (см. рис. 5).

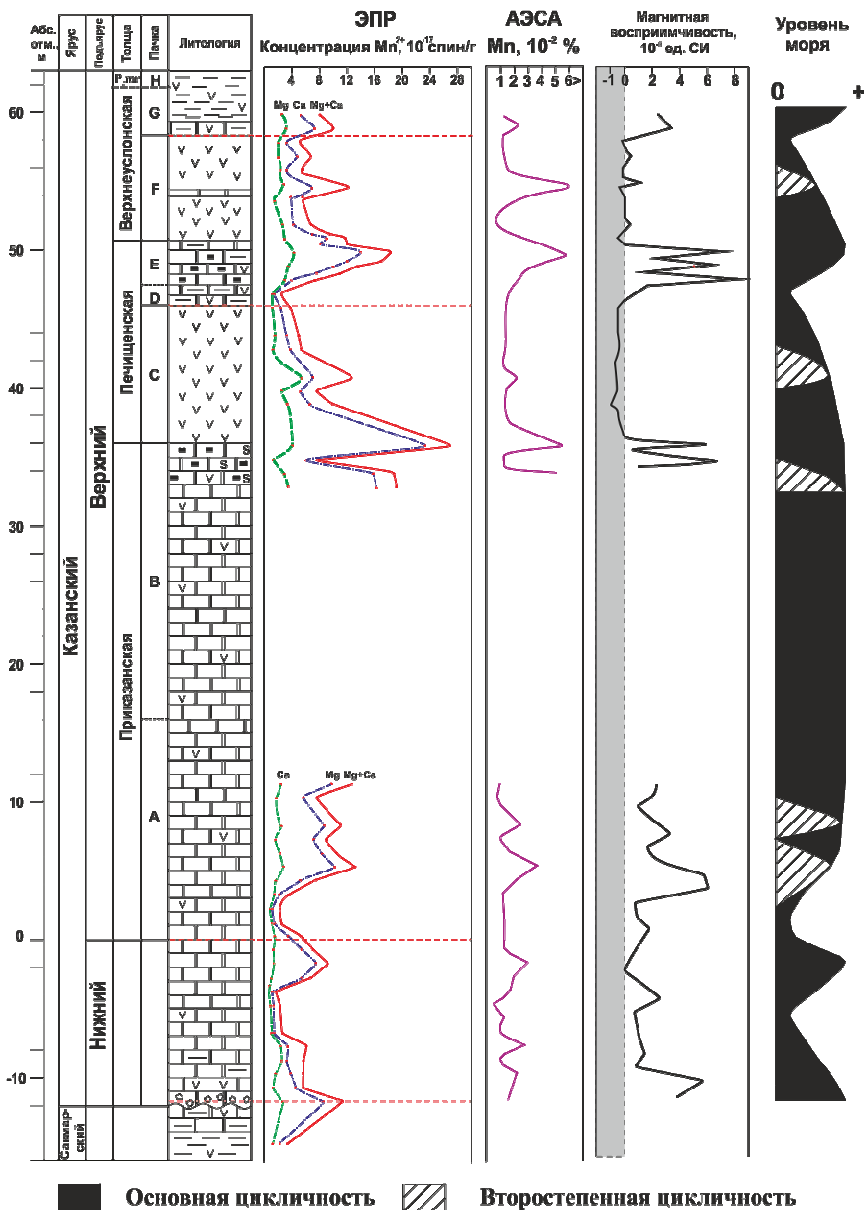


Рис. 5. Распределение марганца и магнитной восприимчивости в породах Суюевского месторождения.
Условные обозначения см. рис. 1

Поведение χ в разрезе казанских отложений Сюкеевского месторождения (см. рис. 5) позволило выделить 3 циклита в верхнем подъярусе казанского яруса и 2 циклита – в нижнем подъярусе, что подтверждается геологическими, литологическими и геохимическими данными. По сравнению с верхнеказанскими отложениями разреза Печищи (Стратотипы..., 1999) Сюкеевское месторождение характеризуется низкими значениями χ в верхнеуслонской толще, что связано с меньшей глинистостью разреза.

С помощью дифференциального термоманитного анализа определены магнитные минералы в породах Сюкеевского месторождения. В гипсе и битуминозном доломите в интервале температур 170 – 230°C отмечаются эффекты, связанные с потерей воды. При температурах 250 – 330°C выявляются процессы окисления мелких зерен гидроокислов железа до магнетита. При температурах 450-500°C начинается диссоциация пирита, и вслед за этим следует значительный подъем намагниченности, прерываемый резким спадом, который связан с точкой Кюри магнетита. Наличие рассеянного пирита подтверждается отсутствием пика на кривой второго прогрева и может свидетельствовать о процессах сульфатредукции в отложениях. Очень редко наблюдаются небольшие концентрации гематита с точкой Кюри 660 – 680°C.

Анализ петромагнитных данных показывает, что основной вклад в магнитные характеристики осадочных пород Сюкеевского месторождения вносит аутигенный гематит, встречающийся в глинистых прослоях среди доломитов. Железо в форме металлоорганических комплексов выносится в бассейн, где происходит его окисление сначала до гидроокислов, а затем и до гематита, что подтверждается положительной корреляцией между содержанием Fe_2O_3 и χ .

В целом, породы Сюкеевского месторождения представляют собой продукт взаимодействия процессов в условиях повышенной солёности эвапоритового бассейна и постседиментационных преобразований. Несмотря на существенное влияние последних, сохранена информация о первичных условиях осадконакопления.

Раздел 4. Условия формирования пород Сюкеевского месторождения

Сюкеевское месторождение входит в состав огромного казанского бассейна, распространявшегося до Прикаспийской синеклизы. Северо-западная граница сульфатонакопления выходит за пределы Республики Татарстан. Согласно палеомагнитным исследованиям (Боронин, 1999) изученный район находился в субтропической зоне – 23 – 24° с. ш. Близость огромных равнинных участков центральных областей Русской плиты способствовала формированию сухого климата и дефицита атмосферных осадков в западных областях. Напротив, на востоке Уральские горы, задерживая атмосферную влагу, обеспечили существование большого числа рек, осуществлявших большую работу по переносу терригенного материала в бассейн седиментации. Вятские поднятия меридионального простирания и развитие рифов выполняли функцию барьеров, разделявших западную часть казанского моря от восточной, что ограничивало поступление терригенного материала в палеобассейн. В казанском водоеме существовала латеральная циркуляция под действием силы Кориолиса: вдоль западного берега в южном

направлении, вдоль восточного – в северном направлении. Это подтверждается зональным распределением пород, характерным для «шельфа сатурации (насыщения)» (Richter-Bernburg, 1957), когда на окраинах происходит седиментация карбонатов и сульфатов, а в основной депрессии (Бузулукская впадина) – хлоридов. Проходя над мелкими участками шельфа, поверхностные воды попадают под действие сухих ветров суши и получают больше солнечной радиации на единицу глубины, в результате чего нагреваются и быстрее испаряются. Когда воды становятся достаточно концентрированными, они опускаются в более глубокие части бассейна. Постепенным «сгущением» воды в мелководных условиях и ее перетеканием в более глубоководные участки объяснял последовательное выпадение карбонатных, сульфатных и хлоридных отложений Н.М. Страхов (1963). Опреснение вод казанского моря на востоке и их осолонение на западе способствовало «вытягиванию» эвапоритовой зоны казанского века с северо-запада на юго-восток на востоке Русской плиты. Похожие модели применяются для генетической интерпретации эвапоритовых отложений бассейнов Цехштейн (Центральная Европа), Элк-Пойнт (Канада), Западно-Техасский (США) и др. (Сонненфельд, 1988).

К началу казанского века территория Сюкеевского месторождения представляла собой низменную сушу. Сухой и жаркий климат субтропиков, значительное удаление от крупных акваторий позволяют предполагать, что данный район представлял собой полупустыню. Начиная с северных районов развивается погружение Русской плиты, в результате чего осуществляется постепенное наступление морских вод. Ингрессия образовавшегося казанского моря на юг приводит к слиянию с остаточными уфимскими бассейнами (Сементовский, 1973). Далее следуют длительный период регрессии и интенсивные процессы испарения. В это время район Сюкеевского месторождения располагается в краевой части эвапоритовой части бассейна в относительной близости к суше и представляет собой «шельф насыщения», где происходит седиментация карбонатов (рис. 6). Данные электронно-парамагнитных и петромагнитных исследований указывают, что раннеказанское время заканчивается трансгрессией.

Позднеказанское время началось с кратковременной регрессии и значительного сокращения рифовых построек. В районе Сюкеевского месторождения это привело к повышению температуры воды, что фиксируется увеличением значений $\delta^{18}\text{O}$. Сульфатная зона постепенно смещается к северо-западу от Бузулукской впадины. Концентрация солей возрастает в придонной области, вызывая уменьшение растворимости кислорода и развитие анаэробных бактерий. В условиях хорошего освещения, повышенной солености и слабых течений формируются оолитовые структуры. В результате обмеления уменьшается осаждение дисперсного карбоната и увеличивается количество глинистой составляющей. Наконец, когда соленость воды достигает критического значения 117 ‰ (Elderfield, 1976), начинается седиментация нижнего пласта гипса Сюкеевского месторождения (рис. 7). Дальнейшая трансгрессия приводит к «опреснению» рассола и осаждению карбонатов – сульфатная зона вновь смещается к Бузулукской впадине. Постепенная регрессия приводит к формированию оолитов, доломитовых мергелей и завершается образованием верхнего пласта гипса. По мнению некоторых исследователей (Королев и др., 2011), находки здесь кремнисто-доломитовых биолитов могут указывать на проницаемые зоны для флюидной мигра-

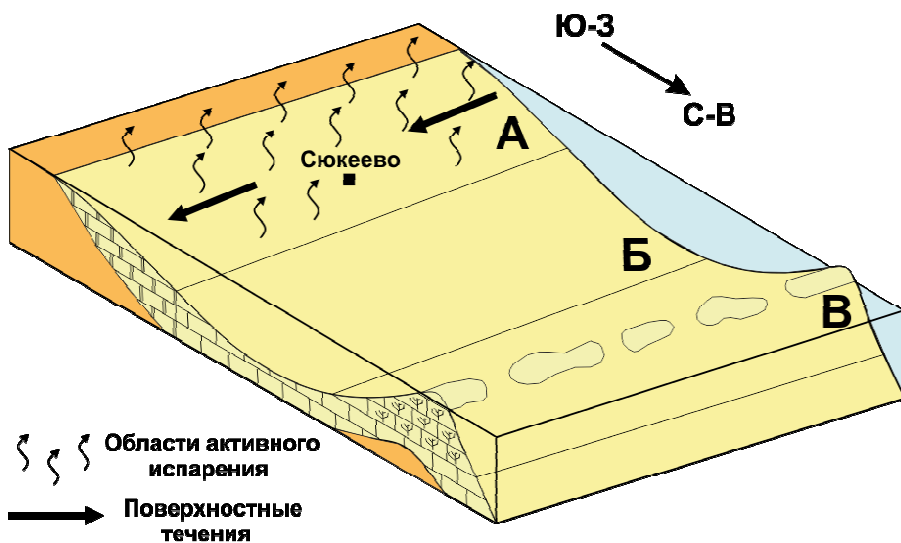


Рис. 6. Модель формирования осадочного бассейна. Раннеказанское время.

Зоны: А – «шельфа насыщения» с преимущественным накоплением седиментационно-диагенетических доломитов;

Б – нормально-соленого моря с седиментацией известняков;

В – развития барьерных рифов

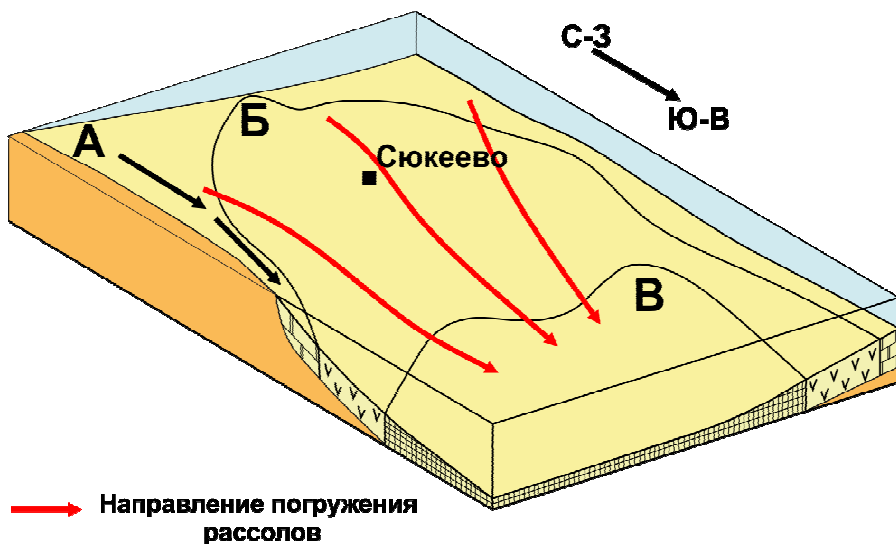


Рис. 7. Модель формирования гипса. Позднеказанское время.

А – зона седиментации карбонатов; Б – зона седиментации гипса;

В – зона седиментации галита (Бузулукская впадина)

ции в районе Сюкеевского месторождения.

Конец казанского века ознаменован обширной трансгрессией, в результате чего соленость воды падает. Это приводит к изменениям циркуляции вод и их биопродуктивности, что отражается на составе стабильных изотопов доломитов, которые близки современным нормально-осадочным морским карбонатам.

В исследованном районе постседиментационные преобразования проходят в два этапа. Диагенетический этап характеризуется, в основном, уплотнением осадка и отжимом поровых вод из карбонатов. Завершаются доломитизация карбонатного осадка и перераспределение кремнезема с образованием конкреций и секреций, начинаются процессы образования вторичных гипса и целестина. На этапе гипергенеза происходят процессы дедоломитизации пород, формирование битумной залежи. Растворение сульфатов и карбонатов метеорными водами приводит к отложению в полостях гипса, кальцита и целестина. На контакте сульфатов и битуминозных доломитов фиксируются процессы сульфатредукции с образованием самородной серы. Восстановление инфильтрационных растворов карбоната и сульфата железа углеводородами с активным участием бактерий привело к формированию вкраплений пирита.

Таким образом, большую часть казанского века территория Сюкеевского месторождения представляла собой «шельф насыщения», где в мелководных условиях происходило концентрирование рассола и седиментация карбонатных и сульфатных отложений под действием поверхностных морских течений. Последние, взаимодействуя с сухим континентальным воздухом, обеспечивали концентрирование рассола и снабжение им солеродных зон. Формирование продуктивных пластов гипса связано с регрессивными частями циклитов и увеличением степени эвапоритизации казанского бассейна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определено, что в казанском веке территория Сюкеевского месторождения представляла собой «шельф насыщения», где в мелководных условиях происходили концентрирование рассола и образование карбонатно-сульфатных отложений. Формирование продуктивных пластов гипса связано с расширением сульфатной зоны на северо-запад от Бузулукской впадины в результате регрессии казанского бассейна.

2. Основными породами Сюкеевского месторождения являются доломиты, доломитовые мергели и гипсы. Литогенетические особенности проявляются в тяжелом изотопном составе $\delta^{13}\text{C}$ 0,3 – 6,6 ‰ и $\delta^{18}\text{O}$ 28,0 – 36,6 ‰, в пониженных содержаниях во вмещающих породах Mn, P, Y и в повышенных концентрациях в гипсе B, Ba, Sr, Zn. Пласты гипса четко выделяются по поведению марганца и магнитной восприимчивости.

3. Показано, что большую часть казанских отложений Сюкеевского месторождения (от низов до верхнего пласта гипса) можно рассматривать как один крупный регрессивный цикл, который осложняется кратковременными морскими трансгрессиями (два цикла в нижнеказанских и три цикла в верхнеказанских отложениях).

4. Установлены границы распространения сульфатной зоны рассматриваемой эвапоритовой части казанского бассейна, построена карта мощности верхнего продуктивного пласта гипса в Предволжье.

5. Создана модель формирования Сюкеевского месторождения гипса.

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах из перечня ВАК РФ

1. Сунгатуллин Р.Х. Строение и условия разработки Сюкеевского месторождения гипса / Р.Х. Сунгатуллин, **Р.И. Кадыров**, А.Н. Тюрин, С.В. Игнатьев // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2011. – Т. 153, кн. 3. – С. 247-261.

2. Сунгатуллин Р.Х. «Геологические бенары» в осадочных бассейнах / Р.Х. Сунгатуллин, **Р.И. Кадыров** // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2012. – Т. 154, кн. 1. – С. 197-206

3. **Кадыров Р.И.** Цикличность эвапоритового бассейна по данным ЭПР-спектроскопии доломитов / Р.И. Кадыров, Р.Х. Сунгатуллин, Н.М. Низамутдинов, Н.М. Хасанова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия Геология. – 2012. – № 2. – С. 248-250.

4. **Кадыров Р.И.** Геохимическая характеристика эвапоритовых пород биармийской эпохи на востоке Русской плиты / Р.И. Кадыров, Р.Р. Хусаинов, Д.М. Гильманова // Георесурсы. – 2013. – № 2 (52). – С. 25-28.

Статьи в других научных изданиях

5. Низамутдинов Н.М. ЭПР продуктов термического отжига гипса / Н.М. Низамутдинов, Р.А. Хасанов, С.С. Царевский, **Р.И. Кадыров**, В.М. Винокуров // Материалы докладов РСНЭ-НБИК 2009. 16-21 ноября 2009 г., Москва, ИК РАН-РНЦ КИ. – Москва, 2009. – С. 361.

6. Хасанов Р.А. Получение атомарного водорода в системе структурных нанотрубок производных дегидратации гипса / Р.А. Хасанов, Н.М. Низамутдинов, Г.Р. Булка, **Р.И. Кадыров**, Abdu-lRazak Al-Soufi, В.М. Винокуров // Материалы X Международной научной конференции «Нанотех 2009», Казань, 8 – 11 декабря 2009 г. – Казань: Изд-во Казанского государственного технического университета. – С. 307-312.

7. **Кадыров Р.И.** Условия формирования Сюкеевского месторождения гипса, Республика Татарстан / Р.И. Кадыров // Сборник докладов XIV международного научного симпозиума им. Ак. М. А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». Том I; 2-е издание; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – С. 199-200.

8. Сунгатуллин Р.Х. Формирование месторождений гипса в пермских отложениях Русской плиты / Р.Х. Сунгатуллин, **Р.И. Кадыров**, Н.М. Низамутдинов // Материалы 8 Уральского литологического совещания «Актуальные вопросы литологии». – Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 2010. – С. 301-303.

9. **Кадыров Р.И.** ЭПР исследования доломитов Сюкеевского месторождения гипса (Республика Татарстан) / Р.И. Кадыров, Н.М. Низамутдинов, Н.М. Хасанова, Р.Х. Сунгатуллин // Материалы Российского совещания с

международным участием «Минеральные индикаторы литогенеза» (Сыктывкар, 14-17 марта 2011 г.). – Сыктывкар: Геопринт, 2011. – С. 145-147.

10. **Кадыров Р.И.** Геохимические исследования продуктивных пластов Сюкеевского месторождения гипса (Республика Татарстан) / Р.И. Кадыров // Проблемы геологии и освоения недр: труды XV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 110-летию со дня основания горногеологического образования в Сибири. Том I. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – С. 174-175.

11. **Кадыров Р.И.** Проблема ЭПР интерпретации условий формирования и постседиментационного изменения доломитов / Р.И. Кадыров // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – Пермь, 2012. – С. 16-18.

12. **Кадыров Р.И.** Интерпретация условий формирования и постседиментационного преобразования доломитов на основе метода ЭПР [Электронный ресурс] / Р.И. Кадыров // Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2012». – М.: МАКС Пресс, 2012. – Режим доступа: http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2012/1727/34981_1cf3.pdf

13. **Кадыров Р.И.** Марганец в доломитах эвапоритового бассейна / Р.И. Кадыров, Р.Х. Сунгатуллин // Материалы Всероссийского литологического совещания, посвященного 100-летию со дня рождения Л.Б. Рухина. Том II. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2012. – С. 73-75.

14. **Кадыров Р.И.,** Кулешов В.Н., Сунгатуллин Р.Х. Литолого-геохимические особенности пермских эвапоритов востока Русской плиты / Р.И. Кадыров, В.Н. Кулешов, Р.Х. Сунгатуллин // Материалы VII Всероссийского литологического совещания. Том I. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. – С. 396-400.